

CLIPPEDIMAGE= JP02001246484A

PAT-NO: JP02001246484A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001246484 A

TITLE: LASER MATERIAL PROCESSING METHOD AND DEVICE

PUBN-DATE: September 11, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

SENDA, ATSUSHI

COUNTRY

N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

SUMITOMO HEAVY IND LTD

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP2000058275

APPL-DATE: March 3, 2000

INT-CL (IPC): B23K026/00;B23K026/08

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve processing speed by eliminating restriction on the speed caused by transfer between processing points.

SOLUTION: The device includes a monitoring means for monitoring the energy condition of a laser beam for each processing point, an X-Y galvano- scanner 19 for irradiating a laser beam to a desired point on a workpiece 16, and a controller 10 for controlling the galvano-scanner in accordance with a result from the monitoring means. The controller, upon completion of the laser beam irradiation on one machining point, makes the galvano-scanner start transferring to the next machining point with the start of the monitoring of the energy condition by the monitoring means; and, if the monitoring result is

abnormal, the controller controls the galvano-scanner so as to return to the previous one machining point as the irradiation position of the laser beam so that the irradiation is performed again.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-246484

(P2001-246484A)

(43)公開日 平成13年9月11日(2001.9.11)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

B 2 3 K 26/00

B 2 3 K 26/00

Q 4 E 0 6 8

26/08

26/08

B

// B 2 3 K 101:42

101:42

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全 6 頁)

(21)出願番号 特願2000-58275(P2000-58275)

(71)出願人 000002107

住友重機械工業株式会社

東京都品川区北品川五丁目9番11号

(22)出願日 平成12年3月3日(2000.3.3)

(72)発明者 千田 淳

神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重

機械工業株式会社平塚事業所内

(74)代理人 100071272

弁理士 後藤 洋介 (外1名)

Fターム(参考) 4E068 AF01 CA17 CA18 CB01 CC01

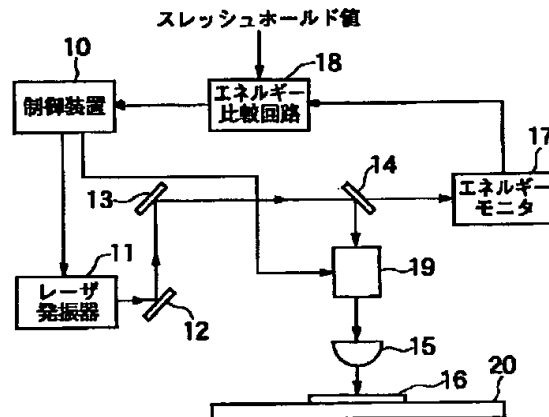
CE02 DA11

(54)【発明の名称】 レーザ加工方法及び加工装置

(57)【要約】

【課題】 加工点間の移動に起因して生ずる加工速度の制約を解消して加工速度の改善を図ること。

【解決手段】 加工点毎にレーザ光のエネルギー状態をモニタするモニタリング手段と、レーザ光をワーク16における所望の加工点に照射するためのX-Yガルバノスキャナ19と、モニタリング手段からのモニタ結果に応じてガルバノスキャナを制御する制御装置10を含む。制御装置は、1つの加工点へのレーザ光照射が終了するとモニタリング手段によるエネルギー状態のモニタ開始に伴ってガルバノスキャナに対して次の加工点への移動を開始させるようにし、モニタの結果が正常でなければガルバノスキャナに対してレーザ光の照射位置を前記1つの加工点に戻すようにして再度のレーザ光照射を行わせるように制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光をワークに照射して加工を行う際に、加工点毎にレーザ光のエネルギー状態をモニタしながら加工を行うレーザ加工方法において、1つの加工点へのレーザ光照射が終了すると前記エネルギー状態のモニタ開始に伴って次の加工点への移動を開始し、モニタ結果が正常でなければ前記1つの加工点に戻して再度のレーザ光照射を行うことを特徴とするレーザ加工方法。

【請求項2】 レーザ発振器からのレーザ光をワークに照射して加工を行うレーザ加工装置において、加工点毎にレーザ光のエネルギー状態をモニタするモニタリング手段と、

前記レーザ光を前記ワークにおける所望の加工点に照射するためのガルバノスキャナと、

前記モニタリング手段からのモニタ結果に応じて前記ガルバノスキャナを制御する制御装置とを含み、

前記制御装置は、1つの加工点へのレーザ光照射が終了すると前記モニタリング手段による前記エネルギー状態のモニタ開始に伴って前記ガルバノスキャナに対して次の加工点への移動を開始させるようにし、モニタの結果が正常でなければ前記ガルバノスキャナに対してレーザ光の照射位置を前記1つの加工点に戻すようにして再度のレーザ光照射を行わせるように制御することを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項3】 請求項2記載のレーザ加工装置において、前記モニタリング手段は、1つの加工点に照射されたレーザ光のエネルギーを検出する検出手段と、該検出手段により検出されたエネルギー値とあらかじめ設定されているスレッショールド値とを比較し、前記検出されたエネルギー値が前記スレッショールド値より低い時に正常でない旨を示す信号を出力する比較手段とを含むことを特徴とするレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はレーザ加工方法及び加工装置に関し、特に穴あけ加工を主目的とし、その加工速度を向上させることができるように改良されたレーザ加工方法及び加工装置に関する。

【0002】

【従来の技術】穴あけ加工を主目的としたレーザ加工装置は、ワークを搭載するステージをX軸方向、Y軸方向に水平移動可能な、いわゆるX-Yステージを備えたものが一般的である。このレーザ加工装置は、X-Yステージによりワークを移動させることでパルス状のレーザビームの照射位置を変える。このため、X-Yステージによるポジショニングに時間がかかり、加工速度に制限がある。便宜上、このレーザ加工装置を第1の方式と呼ぶ。

【0003】これに対し、ガルバノスキャナを用いてレ

ーザビームを振らせることで加工速度の向上を図ったレーザ加工装置が提供されている。簡単に説明すると、レーザ発振器から出力されたレーザビームを、その断面形状を規定するためのマスクを通してうえてX-Yガルバノスキャナに導く。X-Yガルバノスキャナは、良く知られているように、入射したレーザビームを加工領域に配置されたワーク上においてX軸方向に振らせるためのX軸ガルバノミラーと、Y軸方向に振らせるためのY軸ガルバノミラーとから成る。このようなX-Yガルバノスキャナにより、レーザ光はf θ レンズを通してワーク上に設定された所定領域の全域にわたるように振られる。なお、ワークはX軸方向、Y軸方向に可動のX-Yステージに搭載されている。便宜上、このレーザ加工装置を第2の方式と呼ぶ。

【0004】この第2の方式では、ワーク上の所定領域に対してレーザ光を振らせることで加工を行った後、X-Yステージにより次のワークを加工領域に配置する。このような第2の方式によれば、X-YガルバノスキャナとX-Yステージとの組み合わせにより第1の方式に比べて加工速度の向上を図ることができる。

【0005】ところで、上記のようなレーザ加工においては、加工に際し、加工点毎にレーザ光のエネルギー状態をモニタしながら加工を行うことが行われている。これを第1の方式の場合について図3、図4を参照して説明する。

【0006】図3において、レーザ発振器21からのパルスレーザ光はベンディングミラー22、23を経て一部透過型のベンディングミラー24に至り、ここで約99%は反射されてf θ レンズとも呼ばれる加工レンズ25を通してワーク26に照射される。ワーク26は、X軸方向及びY軸方向に可動のX-Yステージ30に搭載されている。ベンディングミラー24を透過した約1%のレーザ光はエネルギーモニタ27に導入されてパルス毎にパルスエネルギーが検出される。検出されたパルスエネルギーはエネルギー比較回路28に送られる。エネルギー比較回路28は加工条件、例えばワーク26の材質や加工厚に応じてスレッショールド値を任意に変更可能であり、検出されたパルスエネルギーとスレッショールド値との比較を行い、検出されたパルスエネルギーの方が低い時にはそれを示す信号をトリガパルス発生器29に出力する。トリガパルス発生器29はこの信号を受けるとレーザ発振器21にトリガパルスを出力し、追加のパルスレーザ光を発生せしめる。

【0007】上記の動作を、具体的な数値を例示して説明する。加工条件により加工点1つ当たりのパルスレーザ光の個数が決定される。例えば、1発当たり0.4(J)のパルスエネルギーを持つパルスレーザ光により、1つの穴あけ(スルーホール形成)加工につき1つのパルスレーザ光を照射するものとする。光路中でのエネルギーロスが無いものとする、エネルギーモニタ

27での正常なパルスエネルギーの検出値は4 (mJ) となる。これを考慮して、スレッシュホールド値 V_{SL} としては2.5 (mJ) が設定されるものとする。1つ目の穴あけ加工ではパルスレーザ光のエネルギーがスレッシュホールド値 V_{SL} を越え、ワーク26には正常に穴が形成されたものとする。

【0008】2つ目の穴あけ加工において、レーザ発振器21に起因してパルスレーザ光のエネルギーが低く、スレッシュホールド値 V_{SL} を下回ったとすると、ワーク26に形成されるホールはスルーホールとならない。エネルギー比較回路28はパルスエネルギーがスレッシュホールド値 V_{SL} を下回ったことを検出してトリガパルス発生器29に信号を出力する。トリガパルス発生器29はこの信号を受けるとレーザ発振器21にトリガパルスを出力する。レーザ発振器21はこのトリガパルスを受けると、通常のパルスレーザ光と同じ周期で追加のパルスレーザ光を出力する。その結果、ワーク26には完全に貫通したスルーホールが形成されることとなる。

【0009】次に、1発当たり0.4 (J) のパルスエネルギーを持つパルスレーザ光により、1つの穴あけ (スルーホールの形成) 加工につき2つのパルスレーザ光を照射する場合について図4を参照して説明する。これは、加工条件により加工点1つ当たりのパルスレーザ光の個数が決定されるからである。この場合、光路中でのエネルギーロスが無いものとする、エネルギーモニタ27での正常なパルスエネルギーの検出値は4 (mJ) となる。これを考慮して、スレッシュホールド値 V_{SL} として2.5 (mJ) が設定されるものとする。1つ目の穴あけ加工では1発目、2発目のパルスレーザ光P1、P2共にスレッシュホールド値 V_{SL} を越え、ワーク26には正常に穴が形成される。

【0010】2つ目の穴あけ加工において、レーザ発振器21に起因して1発目、2発目のパルスレーザ光P3、P4共にパルスエネルギーが低く、特に2発目のパルスエネルギーがスレッシュホールド値 V_{SL} を下回ったとすると、ワーク26に形成されるホールはスルーホールとならない。エネルギー比較回路28はパルスエネルギーがスレッシュホールド値 V_{SL} を下回ったことを検出してトリガパルス発生器29に信号を出力する。トリガパルス発生器29はこの信号を受けるとレーザ発振器21にトリガパルスを出力する。レーザ発振器21はこのトリガパルスを受けると、通常のパルスレーザ光と同じ周期で追加のパルスレーザ光P5を出力する。その結果、ワーク26には完全に貫通したスルーホールが形成されることとなる。

【0011】なお、レーザ発振器21は、上記のように、1つの穴当たりのパルス個数が2個の場合、2個目のパルスレーザ光を出力した後、パルスレーザ光の周期よりも短い一定時間トリガパルスの有無を監視し、トリガパルスが無ければ次の加工へ移される。勿論、図4で

説明したように、追加のパルスレーザ光を出力した後も、一定時間トリガパルスの有無を監視し、トリガパルスが無ければ次の加工へ移される。

【0012】図3、図4は、上述した第1の方式を採用した場合であるが、第2の方式の場合にはベンディングミラー24に代えてX-Yガルバノスキャナが用いられることになり、動作自体は変わらない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】ここで、これまでは、1つの加工点について上記の動作を行って、加工が正常であると判定されてから次の加工点に移動させるという方式をとっている。X-Yガルバノスキャナを使用した場合、隣接する加工点間の距離にもよるが、通常1つの加工点から次の加工点への移動に要する時間は2 msec程度である。これを図5を参照して説明する。

【0014】図5において、時刻T1においてある加工点に移動してパルスレーザ光が照射される。例えば、1つの穴につき1つのパルスレーザ光を照射する場合、パルスレーザ光が照射されるとエネルギーモニタ27、エネルギー比較回路28により正常であるかどうかの判定が行われる。この判定に要する時間は150 μ sec程度である。そして、正常と判定された時刻T2ではじめて次の加工点への移動が開始される。

【0015】ところが、上記のレーザ加工装置を、例えばプリント配線基板の樹脂層への穴あけ加工に用いる場合には、一辺が数cmの正方形領域に数十 μ mの径を持つ穴が数十 μ mのピッチで多数、例えば数千個程度を設けるような穴あけ加工が行われる。このような穴あけ加工においては、上記のように1つの加工点における加工が正常であると判定されてから次の加工点に移動させるという方式では加工速度の向上に制約が生ずることになる。

【0016】そこで、本発明の課題は、加工点間の移動に起因して生ずる加工速度の制約を解消して加工速度の改善を図ることのできるレーザ加工方法を提供することにある。

【0017】本発明の他の課題は、上記のレーザ加工方法に適したレーザ加工装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、レーザ光をワークに照射して加工を行うに際し、加工点毎にレーザ光のエネルギー状態をモニタしながら加工を行うレーザ加工方法において、1つの加工点へのレーザ光照射が終了すると前記エネルギー状態のモニタ開始に伴って次の加工点への移動を開始し、モニタ結果が正常でなければ前記1つの加工点に戻して再度のレーザ光照射を行うことを特徴とするレーザ加工方法が提供される。

【0019】本発明によればまた、レーザ発振器からのレーザ光をワークに照射して加工を行うレーザ加工装置において、加工点毎にレーザ光のエネルギー状態をモニ

タするモニタリング手段と、前記レーザ光を前記ワークにおける所望の加工点に照射するためのガルバノスキャナと、前記モニタリング手段からのモニタ結果に応じて前記ガルバノスキャナを制御する制御装置とを含み、前記制御装置は、1つの加工点へのレーザ光照射が終了すると前記モニタリング手段による前記エネルギー状態のモニタ開始に伴って前記ガルバノスキャナに対して次の加工点への移動を開始させるようにし、モニタの結果が正常でなければ前記ガルバノスキャナに対してレーザ光の照射位置を前記1つの加工点に戻すようにして再度のレーザ光照射を行わせるように制御することを特徴とするレーザ加工装置が提供される。

【0020】上記のレーザ加工装置においては、前記モニタリング手段は、1つの加工点に照射されたレーザ光のエネルギーを検出する検出手段と、該検出手段により検出されたエネルギー値とあらかじめ設定されているスレッシュホールド値とを比較し、前記検出されたエネルギー値が前記スレッシュホールド値より低い時に正常でない旨を示す信号を出力する比較手段とを含む。

【0021】

【発明の実施の形態】図1、図2を参照して、本発明によるレーザ加工装置の実施の形態について説明する。図1において、本形態によるレーザ加工装置は、図3で説明した構成に加えてX-Yガルバノスキャナ19を備え、トリガパルス発生器29に代えて制御装置10を備えている。これら以外の構成は、図3に示したものと同様である。すなわち、レーザ発振器11からのパルスレーザ光はベンディングミラー12、13を経て一部透過型のベンディングミラー14に至り、ここで約99%は反射されてX-Yガルバノスキャナ19に入射する。前に述べたように、X-Yガルバノスキャナ19は、入射したパルスレーザ光をワーク16上においてX軸方向に振らせるためのX軸ガルバノミラーと、Y軸方向に振らせるためのY軸ガルバノミラーとから成る。このようなX-Yガルバノスキャナ19により、パルスレーザ光は加工レンズ(fθレンズ)15を通してワーク16上に設定された所定領域の全域にわたるように振られる。ワーク16はX軸方向、Y軸方向に可動のX-Yステージ20に搭載されている。X-Yステージ20は、X-Yガルバノスキャナ19によるスキャン範囲、すなわち加工領域には制限があるので、加工領域をシフトさせる場合に用いられる。なお、図示していないが、通常、レーザ発振器11とX-Yガルバノスキャナ19との間の光路中には、ワーク16に照射されるレーザ光の断面形状を規定するためのマスクが配置される。

【0022】ベンディングミラー14を透過した約1%のレーザ光はエネルギーモニタ17に導入されてパルス毎にパルスエネルギーが検出される。検出されたパルスエネルギーはエネルギー比較回路18に送られる。エネルギー比較回路18は加工条件、例えばワーク16の材

質や加工厚に応じてスレッシュホールド値を任意に変更可能であり、検出されたパルスエネルギーとスレッシュホールド値との比較を行い、検出されたパルスエネルギーの方が低い時にはそれを示す信号を制御装置10に出力する。

【0023】制御装置10は、1つの加工点への照射が終了するとすぐにX-Yガルバノスキャナ19に対して次の加工点への移動を開始させるようにし、エネルギー比較回路18から検出されたパルスエネルギーの方が低いことを示す信号を受けた場合には、X-Yガルバノスキャナ19に対してパルスレーザ光の照射位置を前記1つの加工点に戻すようにし、しかもレーザ発振器11にトリガパルスを出力して追加のパルスレーザ光を発生させることにより、前記1つの加工点に再度のレーザ光照射を行わせるように制御する。

【0024】上記の動作を、図2をも参照しながら具体的な数値を例示して説明する。例えば、1発当たり0.4(J)のパルスエネルギーを持つパルスレーザ光により、1つの穴あけ(スルーホール形成)加工につき1つのパルスレーザ光を照射するものとする。光路中でのエネルギーロスが無いものとする、エネルギーモニタ17での正常なパルスエネルギーの検出値は4(mJ)となる。これを考慮して、スレッシュホールド値 V_{SL} としては2.5(mJ)が設定されるものとする。図2において、1つ目の穴あけ加工ではパルスレーザ光のエネルギーがスレッシュホールド値 V_{SL} を越え、ワーク16には正常に穴が形成される。エネルギーモニタ17、エネルギー比較回路18における判定には、前に述べたように150μsec程度の時間を要するが、制御装置10はこの判定結果を待たずに、1つ目の穴あけのためのパルスレーザ光の照射が終了するとすぐにX-Yガルバノスキャナ19に対してレーザ光照射を次の加工点に移動させるべく制御する。以下、同様にして2つ目、3つ目の穴あけ加工も正常であったとする。

【0025】続いて、4つ目の穴あけ加工において、レーザ発振器11に起因してパルスレーザ光のエネルギーが低く、スレッシュホールド値 V_{SL} を下回ったとすると、ワーク16に形成されるホールはスルーホールとならない。エネルギー比較回路18はパルスエネルギーがスレッシュホールド値 V_{SL} を下回ったことを検出して制御装置10に信号を出力する。

【0026】制御装置10は、4つ目の穴加工のためのレーザ光照射が終了するとすぐにX-Yガルバノスキャナ19に対して次の加工点への移動を開始させるが、エネルギー比較回路18から検出されたパルスエネルギーの方が低いことを示す信号を受けると、X-Yガルバノスキャナ19に対してパルスレーザ光の照射位置を4つ目の穴加工位置に戻すようにし、しかもレーザ発振器11にトリガパルスを出力して追加のパルスレーザ光を発生させることにより、4つ目の穴加工位置に再度のレー

ザ光照射を行わせるようにする。レーザ発振器11は制御装置10からのトリガパルスを受けると、通常のパルスレーザ光と同じ周期で追加のパルスレーザ光を出力する。その結果、ワーク16には完全に貫通したスルーホールが形成されることとなる。

【0027】以上の動作は、1つの穴について2発以上のパルスレーザ光を照射する場合についても同様である。例えば、1発当たり0.4(J)のパルスエネルギーを持つパルスレーザ光により、1つの穴あけ(スルーホールの形成)加工につき2つのパルスレーザ光を照射する場合について説明する。この場合、光路中でのエネルギーロスが無いものとする、エネルギーモニタ17での正常なパルスエネルギーの検出値は4(mJ)となる。これを考慮して、スレッショールド値 V_{SL} として2.5(mJ)が設定されるものとする。1つ目の穴あけ加工では1発目、2発目のパルスレーザ光共にスレッショールド値 V_{SL} を越え、ワーク16には正常に穴が形成されたとする。エネルギーモニタ17、エネルギー比較回路18における判定には、前に述べたように150 μ sec程度の時間を要するが、制御装置10はこの判定結果を待たずにX-Yガルバノスキャナ19に対してレーザ光照射を次の加工点に移動させるべく制御する。

【0028】次に、2つ目の穴あけ加工において、レーザ発振器11に起因して1発目、2発目のパルスレーザ光共にパルスエネルギーが低く、特に2発目のパルスエネルギーがスレッショールド値 V_{SL} を下回ったとすると、ワーク16に形成されるホールはスルーホールとならない。エネルギー比較回路18はパルスエネルギーがスレッショールド値 V_{SL} を下回ったことを検出して制御装置10に信号を出力する。制御装置10は、2つ目の穴加工のための2発目のレーザ光照射が終了するとすぐにX-Yガルバノスキャナ19に対して次の加工点への移動を開始させるが、エネルギー比較回路18から検出されたパルスエネルギーの方が低いことを示す信号を受けると、X-Yガルバノスキャナ19に対してパルスレーザ光の照射位置を2つ目の穴加工位置に戻すようにし、しかもレーザ発振器11にトリガパルスを出力して追加のパルスレーザ光を発生させることにより、2つ目の穴加工位置に再度のレーザ光照射を行わせるようにする。レーザ発振器11は制御装置10からのトリガパルスを受けると、通常のパルスレーザ光と同じ周期で追加のパルスレーザ光を出力する。その結果、ワーク16には完全に貫通したスルーホールが形成されることとなる。

【0029】例えば、X-Yガルバノスキャナ19によるある加工点から次の加工点への移動時間が2msecで、エネルギーモニタ17、エネルギー比較回路18における判定時間が150 μ secとし、100,000個の穴あけ加工を行う場合を想定すると、図3で説明し

た方式の場合、トータル加工時間は(2msec+0.15msec) \times 100000=215secとなる。一方、本形態による方式の場合、エネルギー不足による追加ショットの発生確率を1/100000とすると、トータル加工時間は(2msec \times 100000)+(追加ショットのために必要となる再移動時間2msec \times 2)となり約200secとなる。その結果、約15秒の加工時間短縮を実現することができる。

【0030】このような加工時間の短縮は、前に述べたように、プリント配線基板の樹脂層への穴あけ加工において、一辺が数cmの正方形領域に数十 μ mの径を持つ穴を数十 μ mのピッチで多数、例えば数千個程度を設けるような穴あけ加工を連続して行う場合には非常に有効である。

【0031】なお、上記の説明では、エネルギー比較回路18は、パルスレーザ光の1発毎に比較を行う場合について説明したが、1つの穴あけに例えば2発のパルスレーザ光を照射する場合には、2発分のパルスエネルギーを加算したうえでこれを2発分のスレッショールド値と比較して判定を行うようにしても良い。

【0032】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明によれば加工点間の移動に起因して生ずる加工速度の制約を解消して加工速度の改善を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態によるレーザ加工装置の概略構成を示した図である。

【図2】図1に示されたレーザ加工装置においてパルスレーザ光のエネルギー判定と加工点間の移動時間の関係を説明するための図である。

【図3】従来のレーザ加工装置の概略構成を示した図である。

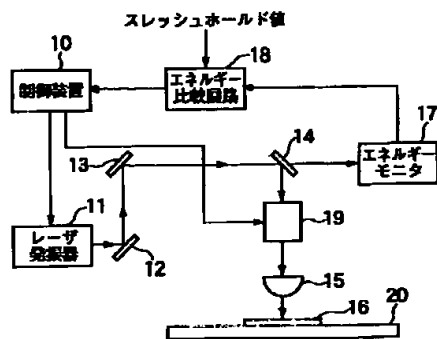
【図4】図3に示されたレーザ加工装置におけるパルスレーザ光のエネルギー判定動作を説明するための図である。

【図5】図3に示されたレーザ加工装置においてパルスレーザ光のエネルギー判定と加工点間の移動時間の関係を説明するための図である。

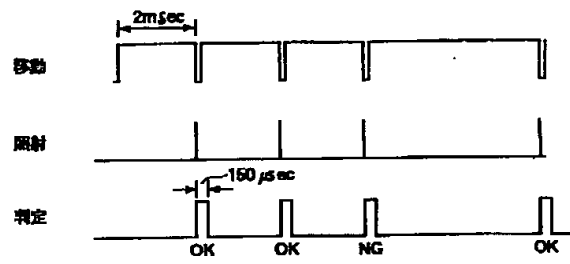
【符号の説明】

- 10 制御装置
- 11、21 レーザ発振器
- 12、13、22、23 ベンディングミラー
- 14、24 一部透過型のベンディングミラー
- 15、25 加工レンズ
- 16、26 ワーク
- 17、27 エネルギーモニタ
- 18、28 エネルギー比較回路
- 19 X-Yガルバノスキャナ
- 20、30 X-Yステージ

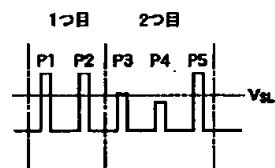
【図1】



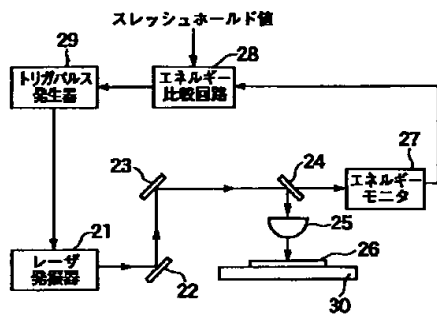
【図2】



【図4】



【図3】



【図5】

